

**DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO
CRACKER FERMENTADAS**

**EDISON OROZCO GIRALDO
VÍCTOR JAVIER GUERRERO HOYOS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA,
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA
2016**

**DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS
TIPO CRACKER FERMENTADAS**

**EDISON OROZCO GIRALDO
VÍCTOR JAVIER GUERRERO HOYOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Electrónico.**

**Director
ING. MAURICIO HOLGUÍN LONDOÑO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA,
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA
2016**

Nota de aceptación:

Director
M. Sc. Mauricio Holguín Londoño

Director del programa de
Ingeniería electrónica

Pereira, marzo de 2016

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 OBJETIVO GENERAL	11
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
4. PROCESO DE PRODUCCION DE GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADA	12
4.1 DEFINICIONES.....	12
4.1.1 Receta.....	12
4.1.2 Galleta 'cracker'	12
4.1.3 Cracker fermentada.....	12
4.1.4 Esponja	13
4.1.5 Masa	14
4.2 MÉTODO DE ESPONJA Y MASA	14
4.2.1 Mezcla.....	14
4.2.2 Fermentación	15
4.3 PROCESO DE PRODUCCION DE UNA GALLETA	16
4.3.1 Laminación	16
4.3.2 Grabado y corte.....	16
4.3.3 Horneado	18
4.3.4 Enfriamiento	19
4.3.5 Apilamiento	19
5. DOSIFICACIÓN Y EMPAQUE	21
5.1 DOSIFICADORA VOLUMETRICA	21
5.1.1 Dosificadora volumétrica de una pista.....	21
5.1.2 Dosificadora volumétrica multi-pista.....	22
5.2 EMPAQUETAMIENTO.....	24

5.3	DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO INICIAL.....	24
6.	VARIADORES DE VELOCIDAD	30
7.	CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC)	32
8.	LENGUAJE LADDER.....	33
9.	RESULTADOS	34
9.1	REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES	34
9.2	PLAN DE FUNCIONAMIENTO PARA DISEÑO DE LA MAQUINA	36
9.3	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.....	39
9.4	DISEÑO DEL ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN	40
9.4.1	Definición de entradas y salidas en el PLC	41
9.4.2	Diagrama de flujo algoritmo de funcionamiento dosificadora	42
10.	IMPLEMENTACIÓN	46
11.	ANÁLISIS DEL PROCESO ANTES Y DESPUÉS DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADAS.....	50
11.1	COMPORTAMIENTO DEL PROCESO ANTES DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADAS.....	50
11.2	COMPORTAMIENTO DEL PROCESO DESPUES DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADAS.....	51
12.	CONCLUSIONES GENERALES.....	56
13.	BIBLIOGRAFIA	57
14.	ANEXO.....	58
A.1.	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PLC Y HMI, PRESENTADO EN FORMATO DIGITAL.....	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Galleta Cracker Fermentada.	13
Figura 2: Mezclador vertical.	15
Figura 3: Laminadora con rodillo de incorporación y rodillos calibradores.	16
Figura 4: Laminadora con rodillo de incorporación y rodillos calibradores.	17
Figura 5: Típica máquina laminadora y subprocesos.	18
Figura 6: Transferencia de calor en un horno.	19
Figura 7: Apilamiento por medio de rueda tipo estrella.	20
Figura 8: Apilamiento con acumulador.	20
Figura 9: Dosificadora volumétrica de una pista.	22
Figura 10: Dosificadora volumétrica multi-pista.	23
Figura 11: Alimentadora de máquina empacadora.	23
Figura 12: Dosificación manual de galletas tipo crack fermentada.	26
Figura 13: Desperdicio de producto en el proceso de dosificación manual.	27
Figura 14: Operarias cargadoras de galletas.	29
Figura 15: Alimentación máquina empacadora.	29
Figura 16: Diagrama esquemático de un variador con modulación del ancho del pulso o PWM.	30
Figura 17: Distribución de actuadores y estructura de la máquina dosificadora.	35
Figura 18: Moto-reductor y banda transportadora.	37
Figura 19: Moto-reductor dosificador.	38
Figura 20: Moto-reductor centrador de galletas.	38
Figura 21: Diagrama de flujo algoritmo de funcionamiento dosificadora	43
Figura 22: Imagen HMI. Entorno de programación.	45
Figura 23: Imagen HMI. Ajuste de parámetros.	45
Figura 24: Diagrama de conexiones de variadores de velocidad.	47
Figura 25: Diagrama de conexiones PLC.	48
Figura 26: Diagrama de conexiones de electroválvulas.	49
Figura 27: Modificación de la línea, horno.	52
Figura 28: Implementación de dosificadora de galletas en nueva línea de producción.	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Lista de materiales utilizados en el proyecto.	39
Tabla 2: Elementos tablero de control y abreviaciones.	40
Tabla 3: Definición de entradas.	41
Tabla 4: Definición de salidas.	41
Tabla 5: Reporte de producción agosto 2014.	50
Tabla 6: Reporte de producción enero 2015.	51
Tabla 7: Reporte de producción noviembre de 2015.	54
Tabla 8: Comparación de indicadores galleta salada.	55

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La manufactura de las galletas Cracker fermentadas implica para toda asociación industrial y empresa lograr un producto de calidad que, fuera de generar buen impacto social, consiga productividad y ocurrencia en el interior de la fábrica. En este sentido, es vital y de suma transcendencia la automatización, ya que se logra optimizar el tiempo de labores realizadas por los operarios, generando mayor productividad y rentabilidad en el proceso y contribuyendo con la salubridad del producto, lo cual para los procesos de gestión de calidad, es un punto relevante para la oferta y la demanda [1].

Generalmente las empresas pequeñas y medianas donde se realiza la fermentación de las galletas tipo cracker operan de forma tradicional, lo cual implica que los operarios manipulan el producto acorde al ritmo del proceso. En algunas ocasiones dicha manipulación es por contacto directo y en el mejor de los casos se dispone de guantes de látex, como medio para eliminar el contacto y evitar la contaminación del producto.

El artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012, establece que los alimentos que se fabriquen, envasen o importen para su comercialización en el territorio nacional, requieren de notificación sanitaria, permiso sanitario o registro sanitario, según el riesgo de estos productos en salud pública, de conformidad con la reglamentación que expida el Ministerio de salud y Protección social [2].

Las actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos, se deben ceñir a los principios de las buenas prácticas de manufactura contempladas en dicha resolución [3].

En el proceso de la fabricación de la galleta cracker fermentada es importante mantener la misma cantidad de producto en cada paquete, lo que a su vez asegura la utilización del material de empaque (correcto uso y bajo desperdicio).

Lo anterior contribuye a mantener control en el peso neto: es de ley garantizar como mínimo el peso declarado en el empaque (bajo peso neto implica sanciones de ley y hasta posible desaparición del producto con pérdidas irreparables) [4].

Un punto a tener presente, radica en que la prevención con guantes de látex no garantiza salubridad en el producto [4]. Esto se debe a dos causales, las cuales hay que tener presentes:

La primera consideración es por asepsia, con el fin de evitar la manipulación del alimento y, por lo tanto, una contaminación que puede llevar a complicaciones severas, incluso de ley (supervivencia del producto y de la fábrica). En segundo

lugar, el guante de látex, con la intensidad de calor o temperatura alta, puede dejar residuos en el producto [4].

En las empresas de fabricación de galleta cracker fermentada es vital el constante seguimiento a las características del producto ya que esto influye directamente en el empaque final del mismo.

En virtud de ello, la delimitación del problema para este ante-proyecto estriba en lo siguiente: ¿Cómo lograr que se incremente la productividad y se mejore la calidad, disminuyendo la intervención humana en pro de eliminar las manipulaciones directas de alimentos, en una línea de producción de galletas tipo cracker fermentadas?

2. JUSTIFICACIÓN

Si se llega a pensar en cómo aumentar productividad en una empresa y que, además, permita un flujo de las tres E (eficiencia, efectividad y eficacia) tanto en la oferta y la demanda, es menester concebir estrategias y ciertos recursos metodológicos que posibiliten un plan de contingencia o de mejoramiento. Toda empresa capitalizadora traza un derrotero en efectuar planes de mejoramiento, ateniéndose a las exigencias de la demanda que se presentan hoy en día. De tal manera, es inminente e innovador planificar estrategias que involucren un desarrollo empresarial que enlace la reducción de la mano de obra y que ante esta iniciativa no altere la efectividad del producto [5].

Por ende, es necesario establecer un procedimiento que permita asegurar una adecuada utilización de los recursos materiales y factor humano. El ejercicio que se está presentando radica en que se ve necesario repensar una reducción de la mano de obra que ejecuta la (el) operaria(o) en la empresas de fabricación de galleta cracker fermentada mediante la instalación de una dosificadora, que permita asegurar que vaya hacia el empaque la misma cantidad de producto y, a su vez, con la finalidad de que no haya contacto manual entre la (el) operaria(o) y el producto, es decir, las galletas Cracker fermentadas. Lo anterior permite impactar los procesos de gestión de Calidad; incrementa la salubridad que debe tener la galleta y, así, suministrar un mejor servicio, es decir, un buen impacto social y satisfacción de cliente, proceso relevante en la gestión de Calidad que se debe manejar en las la empresas de fabricación de galleta cracker fermentada.

Debido a las regulaciones de calidad se requiere el empleo de sistemas de control en el proceso de producción de galletas, ya que esto contribuye al desarrollo del producto; de igual forma se pretende mantener las características fisicoquímicas del mismo y así evitar el rechazo, minimizando las paradas de fábrica y la obtención de un producto con calidad constante. Además, se logra trazabilidad en el rendimiento para la empresa, los operarios y el producto. Se impacta el objetivo principal y las metas generales que se mantienen en las fábricas de producción de galletas tipo cracker fermentadas.

En virtud de todo lo expuesto previamente, el propósito de este trabajo de grado estriba en diseñar un sistema que permita dosificar volumétricamente una cantidad siempre igual de galletas, mediante el empleo de sistemas de control booleano y que permita mejorar el aspecto sanitario, el cual es clave para los procesos de gestión de calidad. A su vez se pretende dar solución al problema de pérdida y quiebres en la forma de las galletas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño e implementación de un sistema automatizado de dosificación volumétrica, para galletería tipo cracker fermentada en una fábrica local de producción.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Indagar la teoría relevante acerca de los sistemas de producción de galletas tipo cracker fermentadas.
- Realizar el levantamiento de requerimientos y restricciones para un sistema de dosificación de galletería cracker fermentada.
- Diseñar el sistema de señales de entrada, algoritmos de control, y accionamientos para un sistema automatizado de dosificación.
- Implementar a nivel físico el sistema automatizado de dosificación de galletas, integrando todos sus subsistemas y realizando las respectivas pruebas de operación.

4. PROCESO DE PRODUCCION DE GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADA

4.1 DEFINICIONES

4.1.1 Receta

El término receta es usado para significar una lista de ingredientes e instrucciones para hacer algo. Existen aspectos como el sabor y textura de galletas que son difíciles de definir en palabras. Los niveles de algunos ingredientes como lo es la sal son importantes para el sabor, la aireación de químicos y condiciones de horneados afectan significativamente la textura. Es posible por medio de una receta contar con valores promedios y rangos de niveles más usados para ciertos ingredientes lo que podría ser útil para los desarrolladores como puntos de inicio para su trabajo. Estos valores deben ser considerados como guías para la experimentación más que sugerencias [1].

4.1.2 Galleta ‘cracker’

‘Cracker’ es un término usado a lo largo del mundo y se refiere a un producto con un muy bajo contenido de azúcar y grasa. El término cracker puede ser usado cuando el producto horneado tiene como base un cereal por ejemplo trigo, avena o cebada en al menos un 60% y un contenido de humedad de 1 a 5%, esta condición es lo que la hace distinguirse de los demás productos.

Cracker es la base de cubiertas saborizadas, las más comunes son de queso y tomate, pero también contiene suficiente sabor de deliciosas capas como para ser consumida sola. Los agujeros en las crackers son llamados agujeros de conexión. Estos agujeros son ubicados en la masa para detener las largas bolsas de gas que se forman durante el horneado como se puede ver en la figura 1 [2].

De las galletas cracker se distinguen varios tipos, sin embargo se detalla el tipo de cracker fermentada con el que se trabaja en este documento.

4.1.3 Cracker fermentada

En la fabricación de este tipo de galleta se incluye un largo periodo de fermentación el cual requiere una esponja iniciadora. Se adiciona 1% de sodio el cual incrementa la alcalinidad y le da a las galletas de soda su nombre. Una vez la masa es madurada se hacen hojas de alrededor de 4mm y después son laminadas cerca de 6-8 veces. Las crackers son cortadas haciendo perforaciones en línea a lo largo de la hoja de masa, conservando esta forma son horneadas para disminuir el desperdicio.

Una vez horneada la hoja de cracker es dividida a lo largo de la línea de perforaciones dejándolas lista para ser empacada. La textura final es escamosa pero crujiente [2].

Figura 1: Galleta Cracker Fermentada.



Tomada de [2]

4.1.4 Esponja

La esponja es la base de la masa con la que se prepara la galleta cracker fermentada, además contiene ingredientes que se encargan de iniciar el proceso de fermentación, la reacción química de la levadura y los azúcares provoca liberación de gases como dióxido de carbono lo cual hace que la masa aumente su volumen, luego de ocho horas como resultado una bacteria crece, estos cambios incluyen producción de ácido y cambio de sabor el cual contribuye a la calidad de la galleta horneada.

La preparación de esponjas usualmente hace pensar en tortas dado que es el límite entre lo que es una galleta y una torta. Sin embargo estos productos derivan de la aireación del gas contenido y se le puede atribuir también el nombre de masa madre.

Las células de levadura crecen y se multiplican alimentando los componentes en la masa tibia. Los productos de la fermentación son el alcohol que brinda su olor característico y el gas de dióxido de carbono el cual es mantenido en la masa [3].

4.1.5 Masa

La palabra masa proviene del término en latín *massa*, el cual hace referencia a la mezcla que surge al incorporar un líquido a una materia que ha sido previamente desmenuzada, cuyo resultado es una sustancia espesa, blanda y consistente, seguidamente procede del griego *madza*, este era un concepto que es descendiente de la realización de un pastel con harina.

La masa en física también significa una magnitud que indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo, el kilogramo es su unidad en el sistema internacional [3].

4.2 MÉTODO DE ESPONJA Y MASA

Es el método de preparación más usado para la fabricación de saltina o cracker fermentada proceso que involucra un largo periodo de fermentación. La bacteria puede desarrollarse debido a la levadura, azúcares, harina, masa reciclada, y esponja.

La esponja contiene cerca del 60 a 70 por ciento de la harina y requiere un tiempo de fermentación de aproximadamente entre 16 y 19 horas a una temperatura ambiente controlada de 25 - 29°C y una humedad relativa de 77 – 78%.

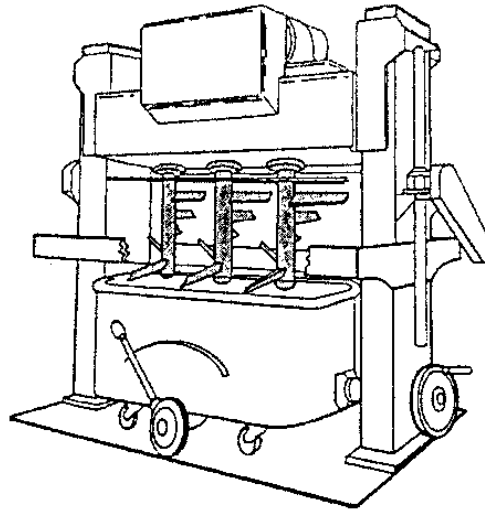
4.2.1 Mezcla

La importancia en la operación de mezcla se da en la homogenización de los ingredientes, sus principales objetivos se basan en formar una masa homogénea mediante la óptima dispersión de los sólidos sobre los líquidos o viceversa, amasar e hidratar para permitir el desarrollo de las proteínas del gluten, aumentar la temperatura de la masa como resultado del trabajo ejercido sobre la misma y aireación para disminuir la densidad.

Para la producción de galletas cracker fermentada se hace indispensable contar un mezclador adecuado que cumpla con las condiciones necesarias para la fabricación de este tipo de galletas las cuales rigen las instrucciones de una receta y se caracterizan en la calidad de la emulsión del agua y levadura durante la fase de crema.

Como se puede observar en la figura 2 los mezcladores verticales se encuentran situados verticalmente dado que bajan en el recipiente de la masa, el cual toma el nombre de carro por ser móviles y por facilitar la carga de materias primas en la preparación de galletas en dos etapas [4].

Figura 2: Mezclador vertical.



Tomada de [4].

4.2.2 Fermentación

Durante este tiempo, ácidos son producidos por la bacteria de ácido láctico (*Lactobacillus brevis* o *Lactobacillus plantarum*) y la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). El grado de acidez o pH decrece de 6 a 4, la harina contiene enzimas proteolíticas con un pH óptimo de 4.1, la acción de esta enzima durante la fermentación es la de modificar las propiedades de la masa, permitiendo que sea más extensible y menos elástica lo que facilita el proceso para convertirla en hojas laminares posteriormente.

Después de la fermentación, a la esponja se le adiciona los ingredientes faltantes sal, soda, amonio, leche, pirofosfato, agua y miel, estos son mezclados entre 3 y 7 minutos. El bicarbonato de sodio es añadido para producir dióxido de carbono, el pH se incrementa a un valor entre 7 y 8. Después de mezclar nuevamente la masa se fermenta por un periodo adicional de 3 a 6 horas. El alto pH inhibe la producción de más ácido debido a la bacteria pero permite que la fermentación de la levadura continúe [5].

La masa fermentada pasa ahora por un proceso que la convierte en hojas para luego ser laminada entre 7 y 8 capas caracterizada por un grosor alrededor de 2 mm [6].

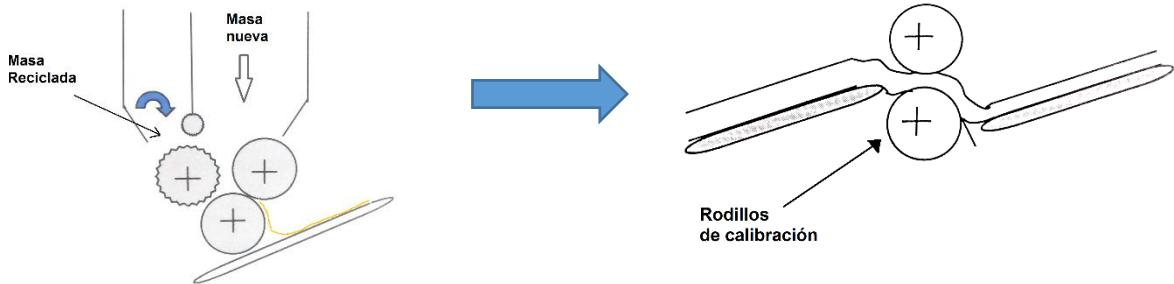
4.3 PROCESO DE PRODUCCION DE UNA GALLETA

4.3.1 Laminación

Laminación es la forma más versátil y común para formar las galletas. Después de la etapa de mezcla y fermentación, la masa descansa y se alimenta entonces en la laminadora. La función de la laminadora es comprimir y calibrar la masa en una hoja de espesor uniforme y el ancho de acuerdo a la longitud de la línea de producción. No debe haber agujeros y los lados deben estar centrados y enteros. Dentro de la laminadora la masa se comprime y se trabaja para eliminar el aire, es inevitable que tenga lugar una cierta tensión en la estructura del gluten. La nueva lámina de masa pasa a través de uno o más conjuntos de pares de rodillos calibradores que le dan el espesor necesario para el corte.

En la figura 3 se observa el interior de la tolva de alimentación de una maquina típica laminadora en donde la masa nueva y masa reciclada con ayuda de un rodillo de incorporación son mezcladas para formar una hoja de masa, a su vez pasa posteriormente por un conjunto de pares de rodillos de calibración quienes se encargaran de dar el espesor final.

Figura 3: Laminadora con rodillo de incorporación y rodillos calibradores.



Tomada de [4].

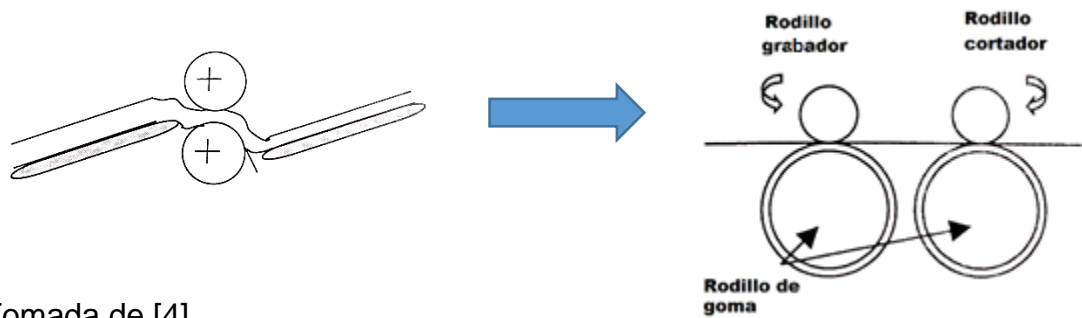
Pares de pesados rodillos de acero son utilizados para reducir gradualmente el espesor de la lámina de masa, generalmente hay 2 o 3 pares de rodillos mientras que para masa dulce solo es necesario uno, en casos donde reducciones muy suaves son requeridas más de 3 pares de rodillos son usados. Una regla práctica es la reducción en proporción de 2:1 en el espesor de la masa al pasar por cada par de rollos de calibración [4].

4.3.2 Grabado y corte

El proceso de corte produce no sólo el tamaño y la forma del producto, sino también la superficie de grabado y agujeros. Se hace entonces necesario asegurar de que las galletas cortadas se adhieran preferentemente a la tela de corte y no sobre el rodillo cortador. El agarre en la banda de corte tampoco debe ser demasiado fuerte o de lo contrario será difícil transferir las galletas cortadas a la malla del horno. Entre las galletas cortadas ninguna masa se considera como desperdicio. Este recorte es independiente y se puede incorporar nuevamente a masa fresca o a la máquina laminadora. Como la densidad, la consistencia, la cantidad de grasa y la temperatura de la recorte es a menudo diferente de la nueva masa es importante que esta realización sea tan uniforme como sea posible. El recorte casi siempre crea problemas en el control del proceso y de esta manera, la incorporación debe ser estudiada con mucho cuidado.

En la figura 4 se aprecia el paso desde los rodillos calibradores hacia el conjunto de rodillos que realizan la operación de grabar y cortar.

Figura 4: Laminadora con rodillo de incorporación y rodillos calibradores.

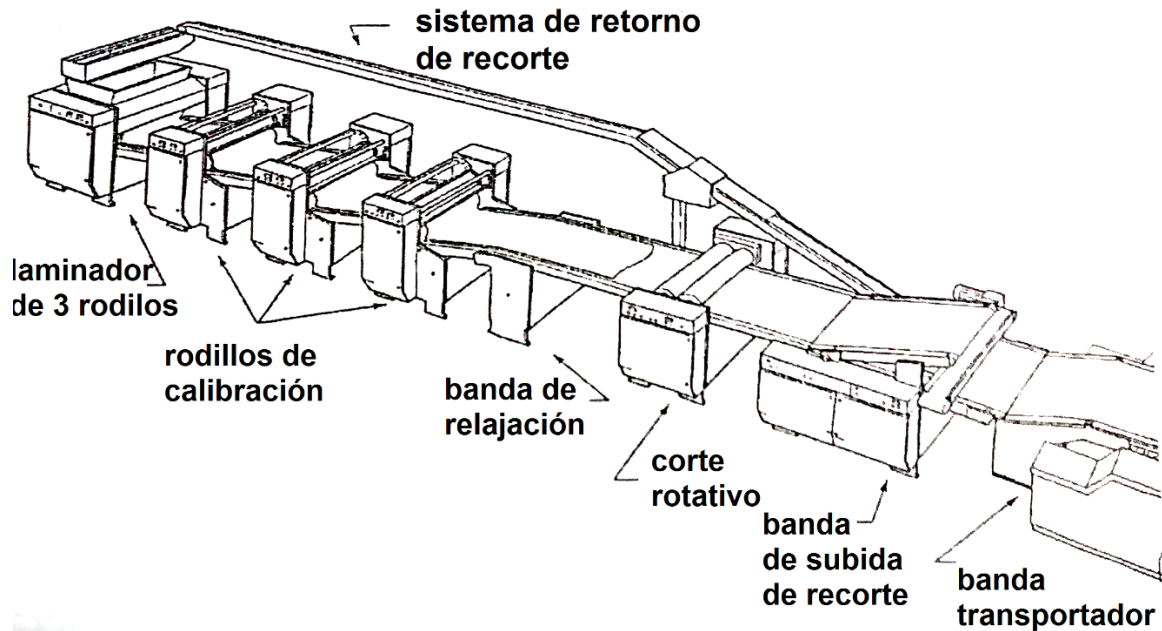


Tomada de [4].

Los rodillos giratorios se hacen normalmente de bronce o de aleación entre cobre y zinc, las técnicas grabación automatizadas permiten una alta precisión en tamaño y forma en la superficie del rodillo, actualmente se utilizan postizos de plástico que se adhieren al mismo, lo cual garantiza formas idénticas, la utilización de estos elementos permite un ahorro significativo de dinero dado que con el mismo rodillo se pueden confeccionar diferentes formas de galletas [4].

Un proceso de laminación típica y sus subprocesos se muestran en la figura 5.

Figura 5: Típica máquina laminadora y subprocesos.



Tomada de [4].

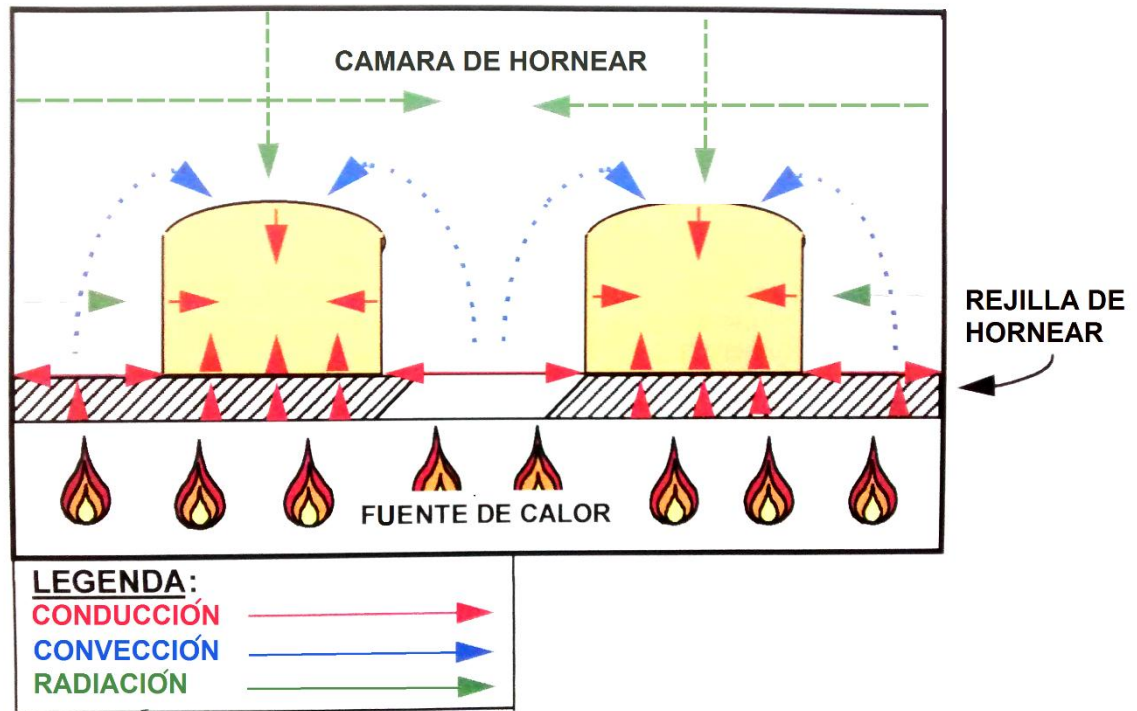
4.3.3 Horneado

Un horno es una caja sólida caliente el cual está diseñado para proporcionar las condiciones necesarias de calor y temperatura a la masa, retirando al mismo tiempo la humedad. El calor puede provenir de diferentes combustibles como el gas, el petróleo o la electricidad. Como se ve en la figura 6 la transferencia de calor se da de tres maneras que son radiación, conducción y convección, los hornos están diseñados para permitir un control rápido y preciso de la temperatura sobre las diversas condiciones, sin embargo cabe resaltar que entender cuál es tipo de transferencia de calor que se aporta en mayor cantidad dependiendo de la etapa de cocción es una difícil tarea.

En la entrada del horno, se aplica calor a la masa por una combinación de tipos de transferencia como es la conducción que se presenta mediante el contacto directo con la rejilla caliente que transporta la masa, la convección ocasionada por corrientes de aire caliente moviéndose al interior del horno y la radiación

suministrada por los quemadores o por la fuente de calor empleada. Todos estos tipos de calor se ven [4].

Figura 6: Transferencia de calor en un horno.



Tomada de [4].

4.3.4 Enfriamiento

El enfriamiento es una de las etapas que requieren mayor atención, dado que grandes sucesos ocurren, como es la completa eliminación de vapores de agentes químicos, la obtención del valor final de humedad antes del producto ser empacado, este fenómeno se da cuando la temperatura de la galleta desciende de 100 a 30°C.

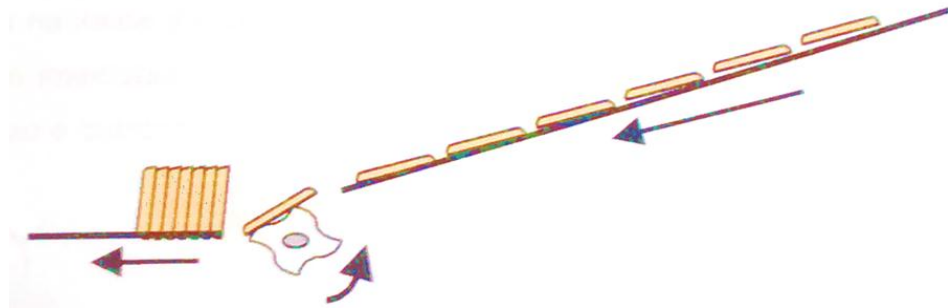
El tiempo empleado en este proceso debe ser bien estudiado, en consecuencia un tiempo demasiado alto hace que las galletas comiencen a absorber humedad de la atmosfera, por otro lado un tiempo demasiado corto podría ocasionar defectos en el empaque, produciendo humedad muy alta y malos olores [4].

4.3.5 Apilamiento

Al terminar el enfriamiento se encuentra una máquina de apilar las galletas. La función de esta máquina es recoger las galletas de la banda de enfriamiento, ponerlas en fila y apilarlas verticalmente. Las máquinas de apilamiento en general apilan las galletas para alimentar máquinas dosificadoras cuyo objetivo es entregar una cantidad de volumen, peso o cantidad de galletas a ser empacadas, para luego ser distribuidas hasta llegar al consumidor final. Como las máquinas de dosificación y empaque cada vez son más automáticas, se vuelven entonces menos tolerantes a desviaciones o no uniformidades en el apilado del producto [4].

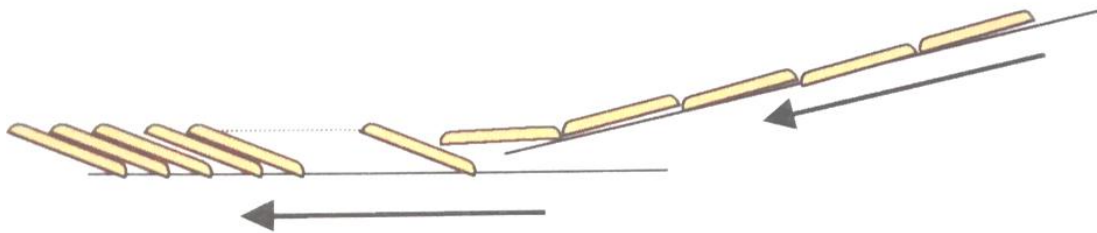
Los diagramas en la figuras 7 y 8 son claros, se puede notar 2 ejemplos de mecanismos comúnmente usados en las máquinas apiladoras.

Figura 7: Apilamiento por medio de rueda tipo estrella.



Tomada de [4].

Figura 8: Apilamiento con acumulador.



Tomada de [4].

5. DOSIFICACIÓN Y EMPAQUE

5.1 DOSIFICADORA VOLUMETRICA

Una dosificadora volumétrica de productos apilados compromete una máquina capaz de realizar la acción de dosificar galletas de acuerdo al tipo de producto previamente seleccionado que luego se encuentra listo para ser empacado en un medio sellado representado por una línea de empaque.

Esta máquina trabaja en conjunto de un alimentador el cual posee una o varias estaciones de dosificación, el alimentador está caracterizado por una cadena que conecta el movimiento en los lados opuestos de la banda transportadora y se conecta a través de barras a la dosificadora.

Posee una banda transportadora localizada entre los rodillos actuadores, diseñados para moverse a una velocidad ajustable y actuar por medio de un moto reductor independiente de tal manera que permita incrementar o decrementar la velocidad de la correa gobernada por su propio motor, la correa transmite una señal al controlador de la dosificadora para permitir la caída de las galletas dentro la banda, esto ayuda a dosificar el producto incluso cuando esta desalineado.

Un alimentador volumétrico para una dosificadora volumétrica de productos apilados, se identifica por una banda transportadora fabricada con materiales lo suficientemente suaves y delgados, y esta característica en combinación con el hecho de tener un movimiento continuo, velocidad ajustable, asegura que el producto dosificado se mantenga sin daños [4].

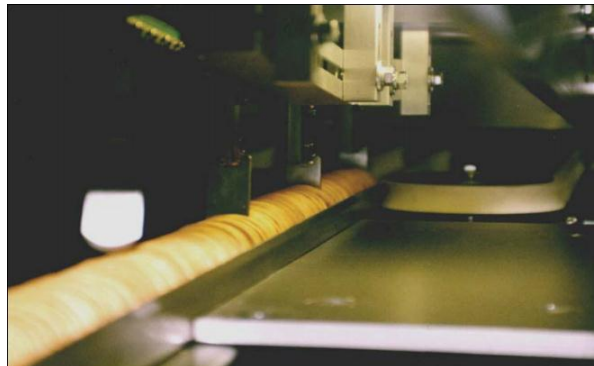
5.1.1 Dosificadora volumétrica de una pista

Esta máquina cuenta con un montaje en línea con una empacadora horizontal la cual alimenta el producto dosificado directamente a la banda transportadora de movimiento continuo, el producto puede ser suministrado automáticamente o manualmente, limitado por la habilidad de los operarios quienes a través de una rampa o tobogán de gravedad abastecen este apartado.

Estas características permiten fácilmente trabajar incluso con mercancía delgada y circular, además se puede ajustar la longitud. Dado su costo beneficio la convierte en una dosificadora ideal para soluciones rápidas y que no requiera gran velocidad de empaque.

A continuación, en la figura 9, se aprecian las paletas empleadas en la dosificación volumétrica de una pista, estas trabajan en sincronía con la banda transportadora que alimenta la máquina de empaque [7].

Figura 9: Dosificadora volumétrica de una pista.

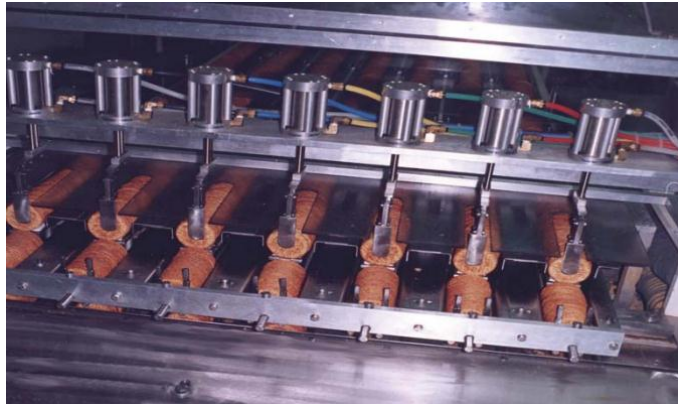


Tomada de [7].

5.1.2 Dosificadora volumétrica multi-pista

Esta máquina es capaz de separar porciones de producto midiendo su longitud, alimentado a través de múltiples pistas, su abastecimiento puede ser automático, semiautomático o manual, acompañada usualmente por una interfaz de operador para ajustar los parámetros de dosificación cada vez que se cambia de referencia o producto.

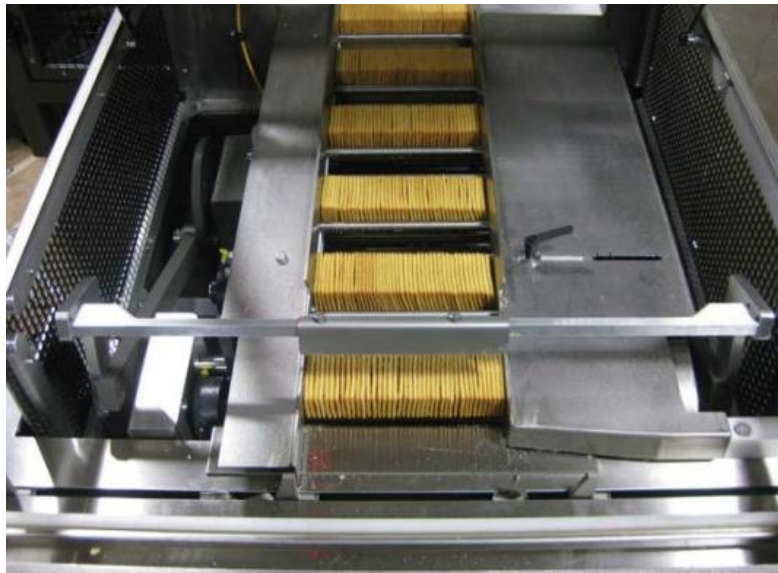
Figura 10: Dosificadora volumétrica multi-pista.



Tomada de [7].

En la figura 10 se observan las diferentes pistas que en conjunto con las paletas de retención y su respectivo actuador que en este caso son cilindros neumáticos, dosifican cantidades exactas de galletas y que finalmente caen en la banda, mientras que en la figura 11 se aprecia como las galletas apiladas y dosificadas volumétricamente son transferidas directamente a la banda transportadora que alimenta la máquina empacadora [7].

Figura 11: Alimentadora de máquina empacadora.



Tomada de [7].

5.2 EMPAQUETAMIENTO

Empaque es el procedimiento usado para proteger y ofrecer galletas para la venta, estas son las etapas finales del proceso de manufactura y la última oportunidad para observar que el producto se encuentre en buenas condiciones y que cumpla con las regulaciones legales antes de dejar la fábrica y ser ofrecida a los consumidores.

Empaque involucra el uso de una amplia variedad de materiales basados en plástico y papel para proteger las galletas de la humedad, polvo y daños en contra de su integridad física y química, también para armar unidades de paquetes para transporte y almacenamiento.

La operación de empaque emplea maquinaria costosa y sofisticada o es una labor intensiva realizado por personas.

En muchos aspectos es un área fundamental para determinar el costo y eficiencia en la producción de galletas.

No es posible obtener detalles de todos los tipos de máquinas de empaque, sin embargo mediante catálogos proporcionados por fabricantes de maquinaria, se muestra una idea de desempeño crítico y técnicos de operación.

La mayoría de galletas contiene baja humedad y son muy higroscópicas, que es, ellas absorben humedad de la atmosfera rápidamente, se vuelven suaves y se deforman con facilidad. Eso hace que el almacenaje de las galletas antes de ser empacadas no se deba realizar a no ser que sea absolutamente necesario y mientras se empacan deben ser protegidas de la atmosfera en contenedores sellados.

Hay un alto grado de mecanización en la industria de galletas pero en el presente hay pocas plantas de producción completamente automatizadas. Esto significa que hay un alto grado de dependencia en los operadores para empezar y controlar las plantas de producción. Es esencial que los operarios tengan habilidades en las tareas que deben de realizar y eso incluye responsabilidad para garantizar una óptima calidad del producto [8].

5.3 DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO INICIAL

El proyecto inicialmente parte de la situación en que se encontraba el proceso de dosificación y empaque de la galleta crack fermentada en una empresa local. En la figura 12 se puede observar el alimentador de la máquina empacadora con el que se disponía. Es evidente el nivel de destreza que requerían las operadoras de esta máquina dado que a medida que van llegando las galletas a través de la banda transportadora, son ellas las responsables de mantener una alimentación continua, dosificando el volumen de galletas que ingresa a la máquina empacadora, a su vez se puede apreciar la manipulación y el contacto directo con el producto, lo que conlleva a problemas de higiene en este proceso.

Las regulaciones o leyes que son relevantes a la producción de alimento están siendo constantemente ajustadas en búsqueda de la seguridad de los productos alimenticios y la seguridad de personal operativo en las fábricas de alimentos. En Colombia el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012, establece que los alimentos que se fabriquen, envasen o importen para su comercialización en el territorio nacional, requieren de notificación sanitaria, permiso sanitario o registro sanitario, según el riesgo de estos productos en salud pública, de conformidad con la reglamentación que expida el Ministerio de salud y Protección social.

Por estas razones el operador influye claramente en la calidad del producto que se encuentra a punto de ser empacado, dado que se puede presentar contaminación es decir material o sustancias no deseadas por medio de microorganismos debido la manipulación con las manos. Se debe observar y tener especial cuidado esencialmente con la limpieza en el ambiente ya que un operario no se halla exento de sufrir complicaciones de salud o enfermedades gastrointestinales como lo es la diarrea o hasta un simple resfriado contenido en un virus que se transporta por medio del aire y que pudiese llegar a ser fácilmente empacado, deteriorando la imagen no solo del producto sino también de la misma empresa.

Figura 12: Dosificación manual de galletas tipo crack fermentada.



En la figura 12 se observa en detalle el uso de tapa bocas y gorro para prevenir la caída de cabello en el producto, además de ser evidente el contacto del producto con las manos, se hace entonces necesario tener la habilidad suficiente para evitar reclamos de empaque por volumen o empaquetamiento inadecuado.

Es importante que el operario del área de dosificación y empaque entienda los puntos críticos que se deben buscar para mantener la calidad de la galleta que se va a empaquetar, conocer como arrancar o parar una máquina, saber cómo realizar pequeños ajustes para una sintonía fina de la máquina y como ponerla en funcionamiento rápidamente luego de una falla, por tal motivo es indispensable mantener buena comunicación con los compañeros para coordinar los trabajos.

Figura 13: Desperdicio de producto en el proceso de dosificación manual.



Ahora, en la figura 13 se aprecia el desperdicio de galleta que es generado por las mismas condiciones de trabajo, una pequeña distracción, de hecho una jornada larga de trabajo provocan que el operario pierda la concentración debido al estrés físico que genera la realización de estas actividades de una manera repetitiva.

Se debe resaltar el recurso humano que se requiere alimentar la banda transportadora por barras, en esta ocasión dos operarias tienen el puesto de trabajo el cual se le atribuye el nombre de cargadoras, un trabajo en equipo que demanda coordinación y destreza a la hora de manipular los paquetes de galletas sin ocasionar quiebres ni deterioros del producto, se conoce así un número aproximado a ser dosificado, sin embargo es el volumen lo que prevalece en el proceso de dosificación manual, en la figura 14 se nota el trabajo coordinado de estas dos operarias, se ubican pequeños montos de galletas al lado de la banda

transporta con el fin de completar las cantidades faltantes en el taco, esto ocurre dado que no siempre se tiene la fortuna de dosificar la cantidad mínima requerida para el taco de galletas que usualmente es de 15 o 16 unidades de galletas. Debido a que no se garantiza una cantidad exacta del producto empacado, por ser un proceso poco ortodoxo, se corre el riesgo de una sanción legal por parte de las entidades que protegen al consumidor, ya que la calidad del producto es bajo.

La figura 15 muestra la máquina empacadora que trabaja en conjunto con la máquina transportadora de barras, las operarias encargadas del proceso son las que la alimentan, de un correcto posicionamiento y acomodación de las galletas que las operarias ejecuten, de esto dependerá el desempeño de la misma, esto es, si se alimenta la máquina inadecuadamente el empaque presentará problemas de sellado debido a que se ejerce demasiada presión al plástico envolvente, de lo contrario, si la cantidad de galletas que se empacan es menor al programada el paquete lucirá deforme y parcialmente vacío.

Figura 14: Operarias cargadoras de galletas.



Figura 15: Alimentación máquina empacadora.

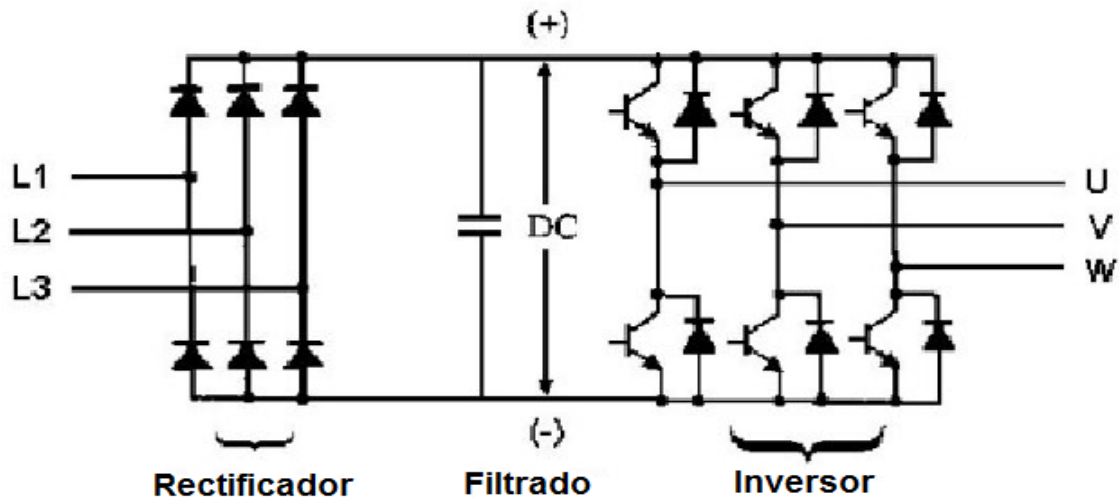


6. VARIADORES DE VELOCIDAD

Hoy en día el motor de inducción es el más usado en la industria dado que es económico y eficiente. Sin embargo este motor gira a velocidad prácticamente constante y realizar variaciones en su velocidad de giro es altamente costoso ya que se hace necesario emplear reducciones mecánicas para tal fin o en muchos casos se deben emplear motores de otro tipo los cuales son menos eficientes y su valor para adquirirlo es mayor.

Un variador de velocidad es un dispositivo que varía en su salida tensión y frecuencia de acuerdo a la necesidad del motor y la carga conectada. Para lograr esto, este equipo se conecta a la red eléctrica en donde es alimentado a frecuencia y tensión prácticamente fijos, esta tensión de corriente alterna es transformada a continua por medio de un conjunto de rectificadores y filtros, para luego ser transformado nuevamente a corriente alterna con tensión trifásica y frecuencia variable, esta última etapa es realizada por un inversor o inverter, muchas fabricantes también llaman al variador de frecuencia “inverter” ya que es una etapa ampliamente importante para la concepción de este dispositivo. En la figura 16 se aprecia un esquema típico del circuito que compone un variador con modulación del ancho del pulso o PWM, en donde se muestra la etapa de rectificación, filtrado e inversión [9].

Figura 16: Diagrama esquemático de un variador con modulación del ancho del pulso o PWM.



Tomada de [9]

Los variadores de tipo PWM son los más tecnológicamente avanzados y los que mejor resultado presentan en la industria, dado que están basados en el control de disparo de los transistores.

Estos variadores además de permitir controlar la velocidad se caracterizan por otorgar las siguientes ventajas:

- Operaciones más suaves.
- Control de aceleración.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del par del motor.

Los variadores se basan en el control vectorial de flujo que es la modificación de la tensión a la vez que la frecuencia y la potencia por lo que la tensión de salida del variador no puede ser mayor que la red por tal efecto una vez alcanzada la velocidad nominal a par constante si seguimos aumentándola sería a potencia constante [10].

7. CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Con el advenimiento de la tecnología de los microprocesadores y los sistemas subsiguientes desarrollados a partir de estos, como es el caso de los controladores lógicos, los autómatas programables y el computador, se logró, y se continúa mejorando constantemente, un alto nivel de integración en los componentes electrónicos, con lo cual esta tecnología allana cada día más la posibilidad de integración de sistemas de diversificada naturaleza, entrega la capacidad de realizar cálculos de orden científico y la implementación de complejos algoritmos en arquitecturas de control distribuidas e inmersas en variados sistemas de gestión y comunicación [11].

Durante los últimos diez años el mercado de procesos industriales y de control ha crecido significativamente. Los PLCs se han mostrado como la base sobre la cual se fundamentan estos sistemas, pero además han aparecido las computadoras digitales como competencia directa gracias a las velocidades de procesamiento y los costos reducidos logrados y divisados hacia un futuro.

Con el desarrollo de estas tecnologías, cada uno de los proveedores trató de ofrecer sistemas amigables de programación que en principio funcionaron bien dentro de cada uno de sus sistemas orígenes. Pero debido a la fuerte demanda en la industria por una integración entre sistemas de diferentes naturalezas, fuentes y proveedores se hizo necesario la creación de un marco de referencia dentro del cual se mueva cada uno de los lenguajes de programación.

Debido a lo anterior se produjo la publicación del estándar IEC 1131-3 en Marzo de 1993, hoy denominado IEC 61131-3, donde se define la forma en la cual deben ser programados los sistemas de control basados en PLCs y que además permite que los programas y comportamientos de las plantas bajo control sean de fácil entendimiento por personal de diferentes industrias.

8. LENGUAJE LADDER

Ladder es el lenguaje de programación de uso más frecuente y su entorno de desarrollo es similar a una escalera, de allí proviene su nombre 'ladder', esta forma de programar un controlador se emplea para representar la lógica de control de sistemas industriales, cuenta con dos líneas paralelas verticalmente que significan la fuente de alimentación y escalones horizontales que simbolizan circuitos por donde la corriente fluye dependiendo del condicionamiento.

En ladder las instrucciones de entrada se sitúan a lado izquierdo del reglón o rung, mientras que las salidas se ubican al lado derecho, el PLC que en este caso es el controlador hace un barrido de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, verificando si se cumplen las condiciones necesarias para activar o desactivar una salida [12].

Estas condiciones usualmente son contactos normalmente abiertos o cerrados, algunos PLC incluyen funciones especiales de Basic o C, además de integrar la electrónica digital básica como son compuertas lógicas OR, NOR, AND, NAND, etc. La activación o desactivación de sensores en los terminales de entrada del controlador producen cambios en las salidas que dependiendo del tipo ya sea de relé o triac se puede manejar un determinado tipo de carga como son pilotos, solenoides, motores o simplemente señales que pasan a través de un circuito de potencia que actúa como interface y de esta manera activar cargas de cualquier tipo.

Este sistema de programación es altamente similar a un circuito eléctrico, esto simplifica el proceso de aprendizaje por parte del personal que realiza las labores de mantenimiento lo que permite familiarizarse rápidamente con el comportamiento de la máquina, este proceso es aún más fácil si la persona tiene conocimientos previos de sistemas eléctricos especialmente de relés.

Finalmente ladder toma elementos de sistemas eléctricos y suple algunos de estos en el entorno de desarrollo. Dentro de un programa es común encontrar temporizadores, contadores, registros de desplazamiento e incluso instrucciones para el control de flujo del programa, como por ejemplo la muy conocida instrucción JUMP que se utiliza en el lenguaje de programación ensamblador que es el lenguaje más cercano al lenguaje máquina que en definitiva son números binarios y se representa mediante ceros y unos [13].

9. RESULTADOS

9.1 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES

El sistema dosificador de galletas tipo crack fermentada que se pretende automatizar cuenta con un sistema mecánico y neumático previamente diseñado e instalado en una estructura que fue suministrada por la empresa local en donde se lleva a cabo la realización de este proyecto.

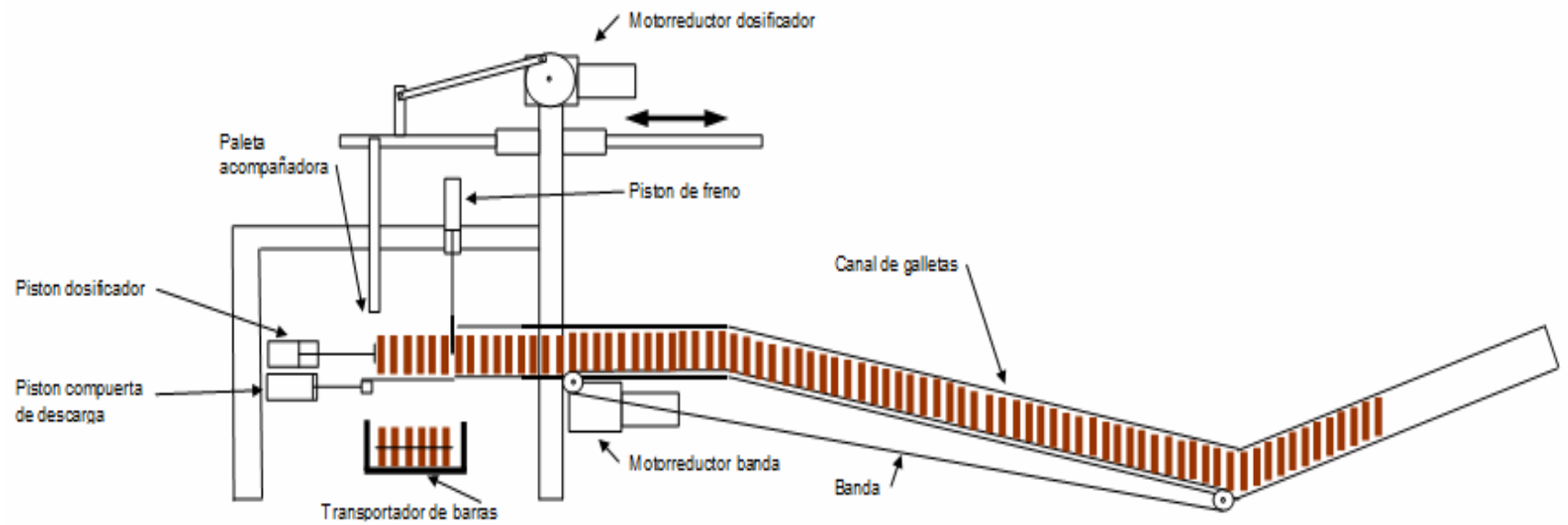
En la figura 17 se puede apreciar el diseño de la estructura que fue suministrado por parte de ingenieros mecánicos de la empresa local, se observa claramente la ubicación de los actuadores electro-mecánicos y neumáticos, estos a su vez representados físicamente por moto-reductores, cilindros, bandas transportadoras, elementos mecánicos de acompañamiento y un canal de alimentación que en este caso es manual.

Para el correcto funcionamiento de lo que se encuentra plasmado en el diseño, se hace necesario instalar un conjunto elementos eléctricos los cuales se encargarán de gobernar el funcionamiento de la máquina acoplando los subsistemas adecuadamente y de esta manera alcanzar a optimizar el proceso de dosificación, este conjunto de elementos es caracterizado por incorporar sensores para garantizar sincronía en los movimientos de los actuadores, además de variadores de velocidad los cuales se encargan de realizar ajustes en la velocidad que dependen del ritmo del proceso y de la planta, finalmente el montaje de los elementos de control, potencia e interfaz de usuario en un cofre que albergará estos componentes.

Dentro del alcance de este trabajo de grado se halla inherente la necesidad de crear una sincronización entre la banda transportadora de barras y la máquina dosificadora que se montará, esta banda se puede detallar en la figura 14 y que actualmente se encuentra siendo alimentada manualmente. Se ha pensado en aprovechar la relación mecánica representada físicamente por un par de engranajes y cadena para tomar una señal de referencia que permita dosificar y transportar un determinado volumen de galletas tipo crack fermentadas sin deteriorar su integridad física y que a su vez permita la continuidad del proceso reduciendo el número de fallas, tiempo de dosificación, estrés de los operarios, etc.

De este modo este trabajo se centra en la identificación de cada uno de los componentes del sistema de dosificación en conjunto con el subsistema transportador de barras así como las características propias de cada uno de los elementos para tener en cuenta a cuales se le debe de realizar la consecución dado que de otro modo no sería posible lograr la finalización y puesta a punto de este proyecto.

Figura 17: Distribución de actuadores y estructura de la máquina dosificadora.



9.2 PLAN DE FUNCIONAMIENTO PARA DISEÑO DE LA MAQUINA

El propósito de este trabajo de grado se basa inicialmente en diseñar un sistema que permita dosificar volumétricamente una cantidad siempre igual de galletas. A su vez se pretende dar solución al problema de pérdida y quiebres en la forma de las galletas, se propone mediante el empleo de sistemas de control y herramientas de automatización industrial una reforma del proceso que permita mejorar el aspecto sanitario, el cual es clave para los procesos de gestión de calidad y con ello se logra una mejora significativa en la apariencia del producto y la cantidad de producción de kilogramos hora.

El elemento que se encargará de controlar y de garantizar un correcto funcionamiento será un controlador lógico programable o PLC, este equipo por medio de una interfaz hombre máquina o HMI permitirá la edición de algunos parámetros de configuración por parte del operador.

En la realización de este proyecto a través de la HMI se ingresarán los valores para los parámetros de configuración así de esta manera conseguir un óptimo rendimiento y ajuste de la máquina dependiendo de los requerimientos de producción. Los parámetros que el operario tendrá la opción de ingresar son básicamente 3 valores de tiempo dados en milisegundos, los cuales dentro del algoritmo de programación harán un retardo programado para abrir compuertas, cargar galletas y desactivar motores, este último parámetro se implementa con el fin de lograr un consumo de energía eficiente ya que en el momento en que la máquina es detenida este motor sigue funcionando por un periodo de tiempo determinado con el fin de acomodar las galletas, la figura 18 muestra el motor centrador.

Manejar el motor-reductor de la banda transportadora alimentadora de galletas mostrado en la figura 19 y el moto-reductor dosificador mostrado en la figura 20 a velocidades ajustables por medio de variadores de velocidad electrónicos permite poner en un punto deseado la velocidad de operación de la máquina la cual depende siempre del ritmo que en ese momento lleve la producción. El avance secuencial de la máquina es retroalimentado por un conjunto de sensores inductivos cuya tarea es detectar la posición de la paleta acompañadora en búsqueda de lograr la sintonía fina con los actuadores de la misma. Se emplea un sensor inductivo adicional encargado de llevar al PLC la señal de inicio para comenzar la secuencia de activación de las cargas, una vez encendidas y apagadas las cargas secuencialmente la máquina retorna a su estado de inicio o reposo comúnmente llamado 'home' esperando detectar nuevamente la señal del

piñón de la banda transportadora de barras. Lo que se desea es que una vez la máquina retorne a su punto de partida y que el tiempo que espera hasta iniciar un nuevo ciclo sea lo mínimo posible.

Figura 18: Moto-reductor y banda transportadora.

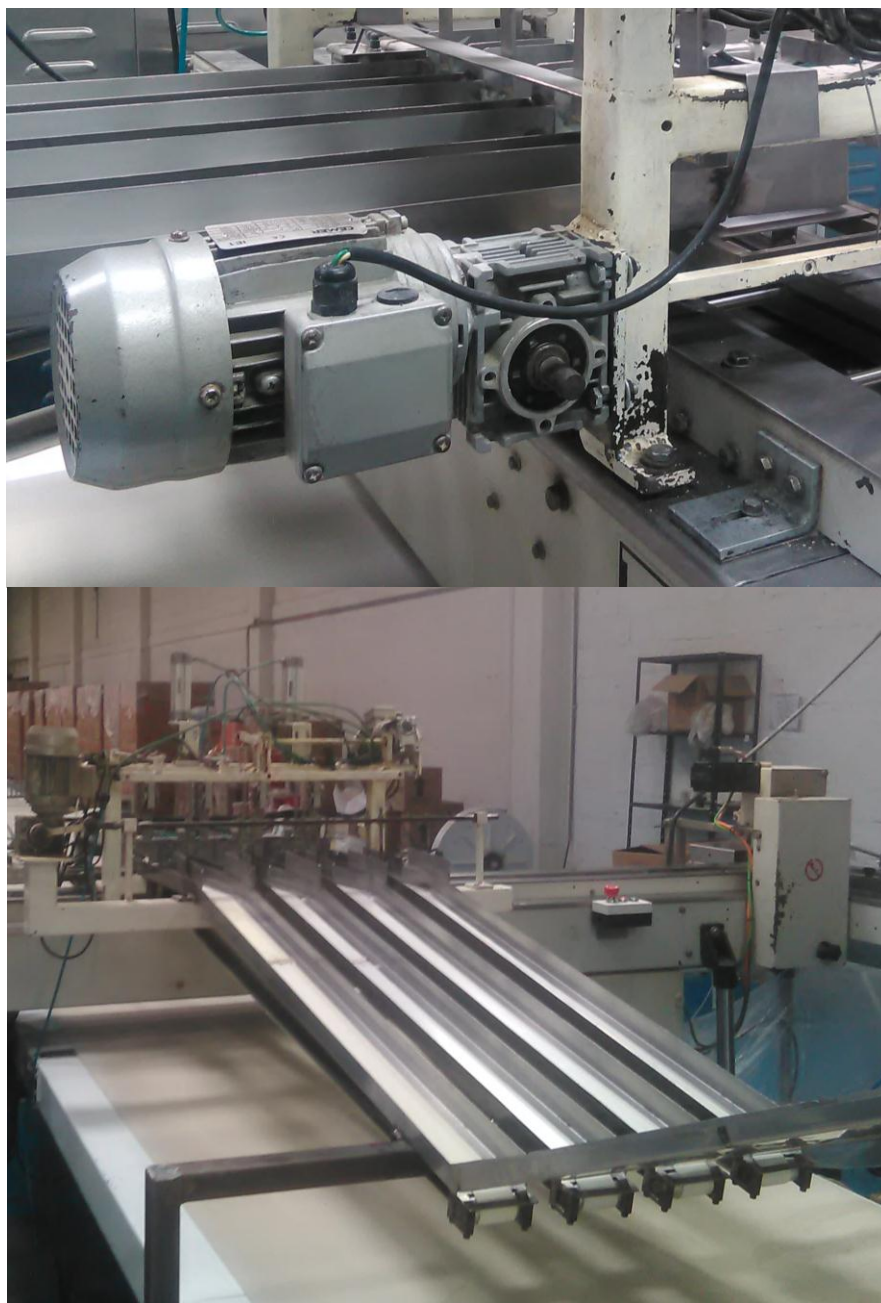


Figura 19: Moto-reductor dosificador.



Figura 20: Moto-reductor centrador de galletas.



9.3 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL

Tomando como punto de partida el funcionamiento deseado de la máquina dosificadora y los ajustes requeridos por el sistema de control, se procede a elaborar la lista de materiales necesarios para la realización de esta automatización, ver tabla 1.

Tabla 1: Lista de materiales utilizados en el proyecto.

ELEMENTO	CANTIDAD (Unidades)
PLC Thinget XC3-14T-C, 20-30VDC, 8 entradas, 6 salidas npn	1
HMI TouchWin OP320-S RS232/RS485, 24VDC, 7 teclas, 1MB memoria, 1KB SRAM, RTC, 3.7"	1
Variador de frecuencia Delta VFD-L 0,75KW, 3 fases	1
Variador de frecuencia Mitsubishi FR-E520 0,75kW-NA, 3 fases	1
Fuente de poder Vin 85-132/176-264VAC Vo 24VDC, 108W, 4.5A	1
Sensor de proximidad inductivo IVE4015-CPKG/3D, IFM SENSORS, 10-36VDC, PNP-NA, IP67	1
Sensor de proximidad inductivo PTR18-8DP, Autonics ϕ 18mm, 8mm alcance, PNP-NA, IP67	2
Válvula Solenoide Mindman MVSD-180-4E1, 5/2, 1/4 npt, 220Vac	3
Interruptor automático Sassin 3SB1-63N C25, 25A	1
Interruptor automático Chint NB1-63 C3, 3ª	1
Contactador Chint NC1-0910, 380/400V, 9A	1
Base para relevo 8 pines redondo, 10A, para riel DIN, Hongfa	4
Rele 8 pines redondo voltaje 24VDC, Hongfa, 2 contactos conmutables 10A/250Vac/30VDC	4
Interruptor Protector de motor Moeller PKZM0-1, 1A	1
Interruptor selector 2 posiciones	1
Boton Pulsador rasante color verde	1
Motor Cemer 3 fases MSL56B-4, 0.11Kw, IP55	3
Reductor Brown Advance BW-30-C	3
Cilindro neumático Norgren PRA/182032/80	2
Cilindro neumático Airtac SE32X25-S	2
Cilindro neumático Airtac SE32X05-S	1

Dado que la empresa local donde se lleva a cabo la ejecución de este proyecto solicita realizar el diseño y montaje del cofre, componentes electrónicos y eléctricos no se incluye en la lista de materiales elementos tales cableado o

accesorios de conexión. En la tabla 2 se puede observar la asignación de letras a cada uno de los elementos.

Tabla 2: Elementos tablero de control y abreviaciones.

ELEMENTO	DESIGNACION
PLC Thinget XC3-14T-C	A1
HMI TouchWin OP320-S 3.7"	A2
Variador de frecuencia Delta VFD-L 0,75KW,	N1
Variador de frecuencia Mitsubishi FR-E520 0,75kW-NA	N2
Fuente de poder Vin 85-132/176-264VAC Vo 24VDC, 108W, 4.5 ^a	G1
Sensor de proximidad inductivo, piñón	S1
Sensor de proximidad inductivo, posición 1	S2
Sensor de proximidad inductivo, posición 2	S3
Interruptor selector 2 posiciones, inicio o parada	S4
Botón Pulsador rasante color verde	S5
Válvula Solenoide, pistón compuerta de descarga	Y1
Válvula Solenoide, pistón dosificador	Y2
Válvula Solenoide, pistón freno	Y3
Interruptor automático trifásico, variadores	Q1
Interruptor Protector de motor trifásico, motor centrador	Q2
Interruptor automático monofásico, fuente 24Vdc	Q3
Contactor trifásico, motor centrador	KM1
Rele 24 VDC, arranque variador 1	K1
Rele 24 VDC, pistón compuerta de descarga	K2
Rele 24 VDC, pistón dosificador, pistón freno y Arranque variador 2	K3
Rele 24 VDC, arranque motor centrador	K4
Motor trifásico, banda transportadora	M1
Motor trifásico, dosificador	M2
Motor trifásico, centrador	M3

9.4 DISEÑO DEL ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN

Para un óptimo funcionamiento del algoritmo de programación es necesario definir todas las entradas y salidas del sistema en conjunto de las direcciones asignadas en memoria del PLC para el manejo de la comunicación con la interfaz hombre máquina, la dosificadora tiene un solo modo de funcionamiento por lo que no es necesario definir otros, el avance de la banda transportadora es controlado manualmente a través de un pulsador, un interruptor selector de 2 posiciones se

emplea para inhibir la señal del piñón, esto con el fin de que máquina retome su posición inicial en cada ciclo.

9.4.1 Definición de entradas y salidas en el PLC

El diseño del algoritmo de programación que se desea implementar tanto en el PLC como en la HMI, requiere inicialmente definir cada una de las entradas digitales y salidas digitales, en la tabla 3 se observan las definiciones de dichas entradas y en la tabla 4 se ven las salidas asignadas.

Tabla 3: Definición de entradas.

Entrada	Designación
X0	Piñón
X1	Sensor inductivo 1
X2	Sensor inductivo 2

Tabla 4: Definición de salidas.

Salida	Designación
Y0	Motor dosificador
Y1	Compuerta
Y2	Motor banda transportadora, pistón freno, pistón dosificador
Y3	Motor centrador

9.4.2 Diagrama de flujo algoritmo de funcionamiento dosificadora

En la figura 21 se ve el diagrama de flujo relacionado con el funcionamiento de la máquina, en el momento de ser energizada la dosificadora se espera la señal del piñón de la banda transportadora por barras, esta señal indica que la banda se encuentra libre y puede ser alimentada con las galletas dosificadas, al instante de detectar dicha señal se procede a cargar los valores de los diferentes temporizadores desde la HMI, luego se activa el motor centrador y se inicia el temporizador de desconexión, la salida se mantiene activa mientras el tiempo no finalice ya que cada vez que el sensor de piñón emite una señal, esta temporización se reinicia, de lo contrario si no se reinicia el temporizador y este llega a su fin se apaga el motor centrador, esto se hace con el objetivo de ahorrar consumo eléctrico, seguidamente se activa el pistón de descarga temporizado a la desconexión con el fin de abrir las compuertas durante un tiempo suficiente que garantice que las galletas sean cargadas por completo antes de volverse a cerrar, lo que permite el siguiente paso en el cual el motor dosificador es activado y comienza la secuencia de dosificación, la paleta acompañadora se desplaza hasta el sitio donde tiene contacto con la galletas, en ese trayecto el sensor inductivo 1 es excitado y permite el accionamiento del pistón de freno, con esto se logra retirar la barrera que detiene las galletas y se activa el motor de la banda transportadora de galletas que en conjunto con el pistón dosificador acompañan el producto y separan el volumen deseado del producto, finalmente la paleta acompañadora retorna a su lugar de origen activando el sensor inductivo 2 y con esta acción se detiene el motor de la banda transportadora, al igual que el pistón de freno y el pistón dosificador retornan a su posición de reposo, después se realiza una pequeña temporización llamada cargar galletas la cual busca lograr una óptima sincronización entre la banda transportadora por barras y la dosificación de la galleta.

Mediante el uso del software OP20 Series Edit Tool versión 6.5z se programa la HMI, La figura 22 muestra el entorno de programación en donde con unos conocimientos básicos y la asignación de algunos registros, se implementa la comunicación con el PLC e intercambio de datos, consiguiéndose en la figura 23 visualizar la pantalla de ajuste de parámetros que son editables por parte el operador de la maquina en el momento que se requiera debido a un cambio en la velocidad de la línea de producción.

Figura 21: Diagrama de flujo algoritmo de funcionamiento dosificadora.

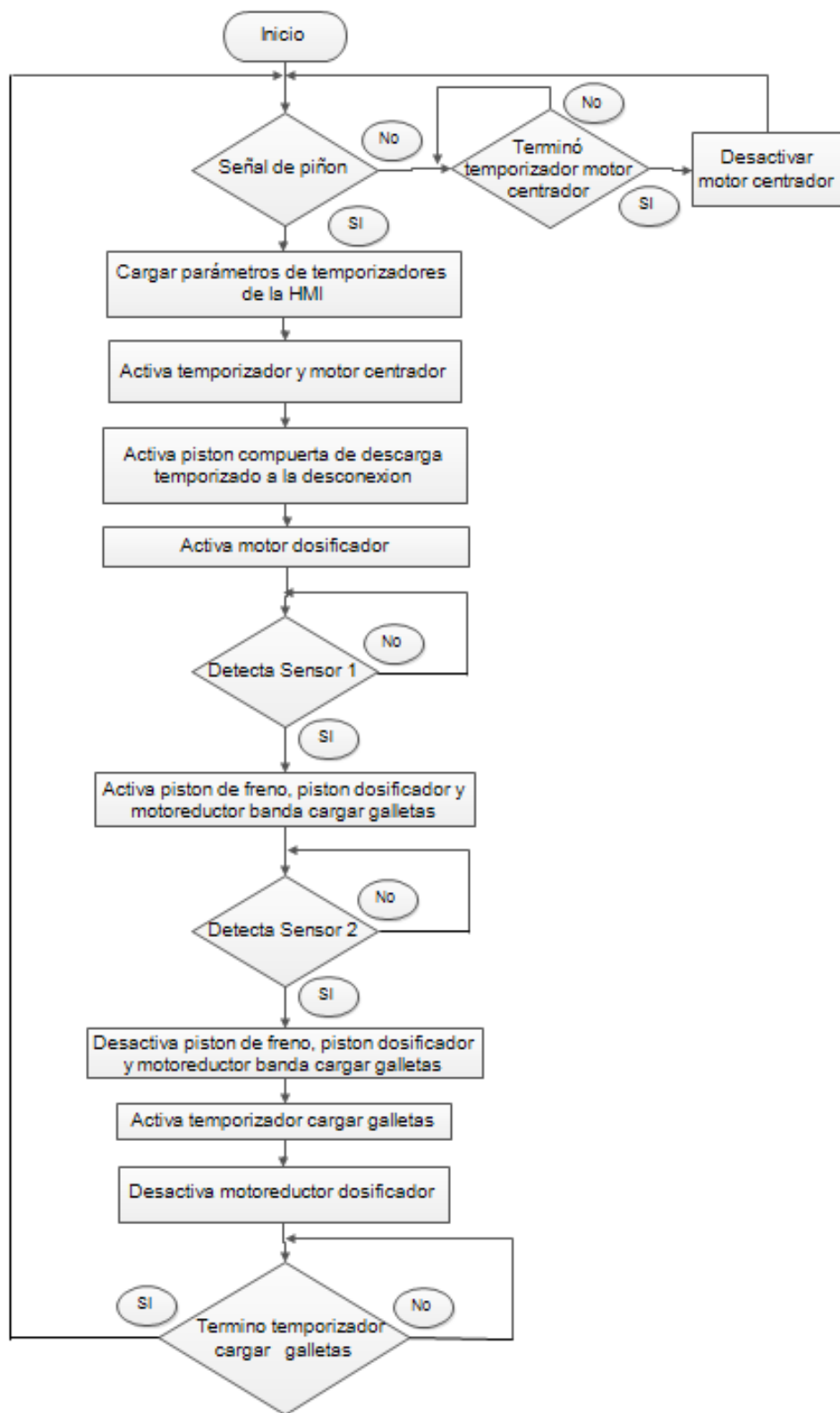


Figura 22: Imagen HMI. Entorno de programación.

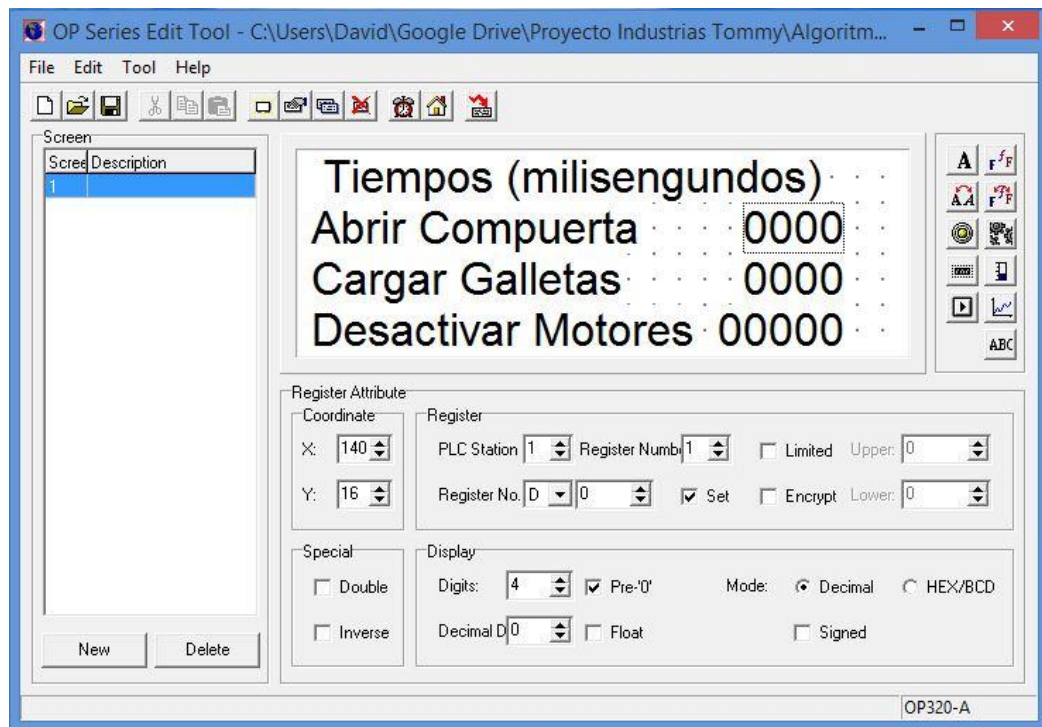
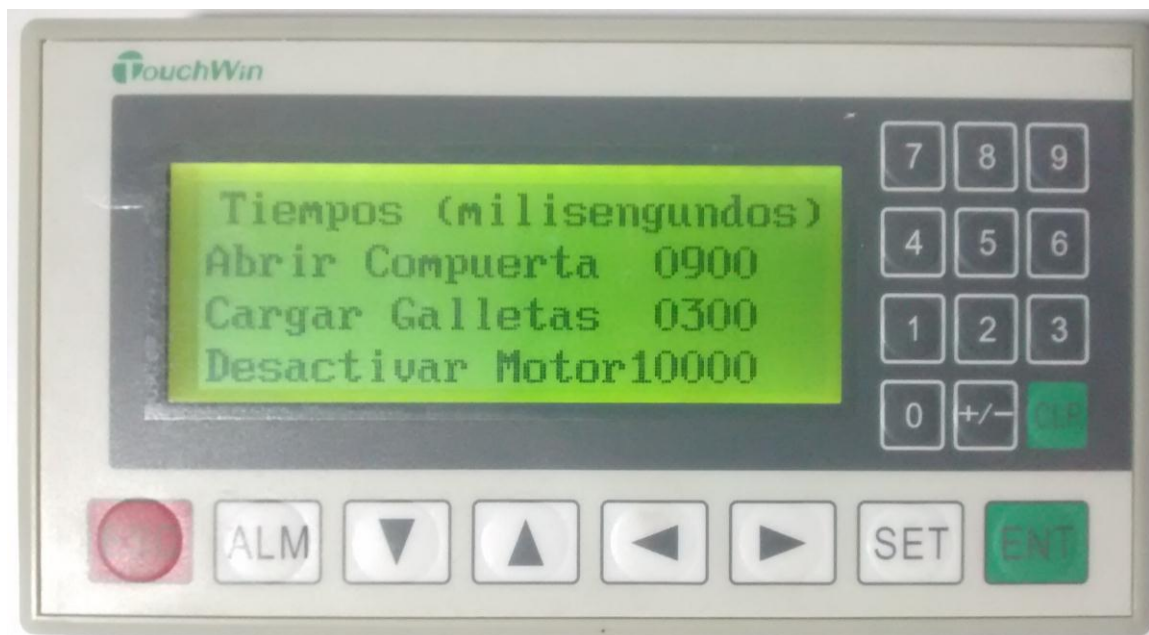


Figura 23: Imagen HMI. Ajuste de parámetros.



10.IMPLEMENTACIÓN

La implementación de este trabajo requiere el diseño de un circuito eléctrico acorde al funcionamiento mencionado en el algoritmo de programación.

A continuación, se observa en detalle la conexión de los elementos de control y de potencia necesarios para la realización del proyecto diseño y montaje de un sistema dosificador para galletas tipo cracker fermentadas. En la figura 24 se presenta la conexión de los variadores de velocidad, ambos compartiendo la misma protección, adicionalmente se muestra la conexión del motor centrador con su respectiva protección térmica.

En la figura 25 se muestra como esta interconectado el control lógico programable, con sus respectivos sensores inductivos que en este caso son las entradas, mientras que en las salidas se conectan relevos, los cuales sirven como protección adicional para proteger las salidas del PLC y al mismo tiempo se usan para realizar activación manual de los actuadores en el momento de requerir mantenimiento; también se observa la fuente de tensión que se encarga de realizar la adecuación del voltaje para alimentar el controlador, los sensores, actuadores y la interfaz hombre máquina o HMI. El interruptor S4 permite inhibir o activar la señal de control proporcionado por el piñón que se encuentra en la transmisión de movimiento de la banda transportadora de barras.

Finalmente en la figura 26 se indica la conexión de las electroválvulas encargadas de accionar los cilindros neumáticos y su correspondiente protección térmica a través del fusible F1.

Figura 24: Diagrama de conexiones de variadores de velocidad.

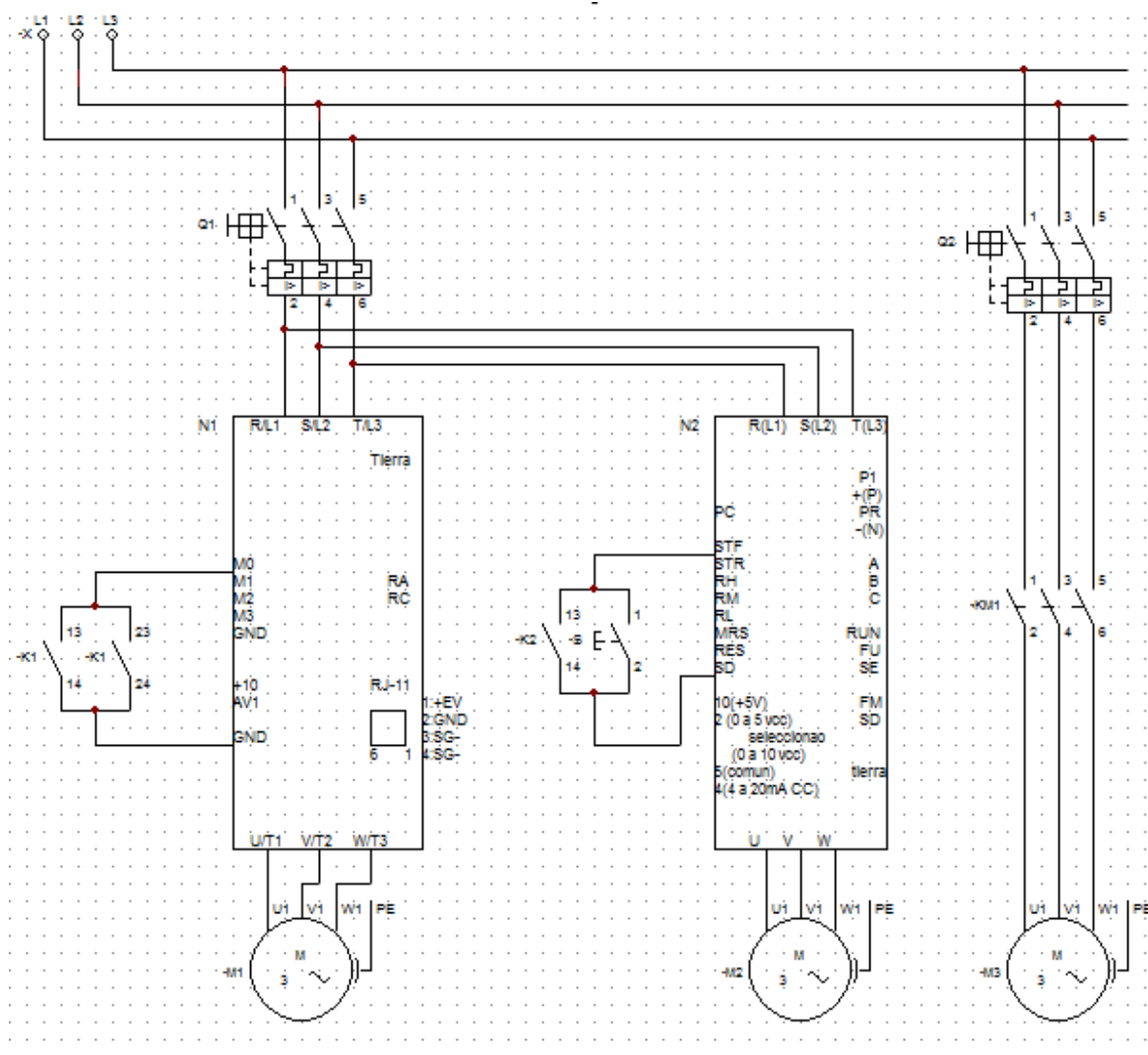


Figura 25: Diagrama de conexiones PLC.

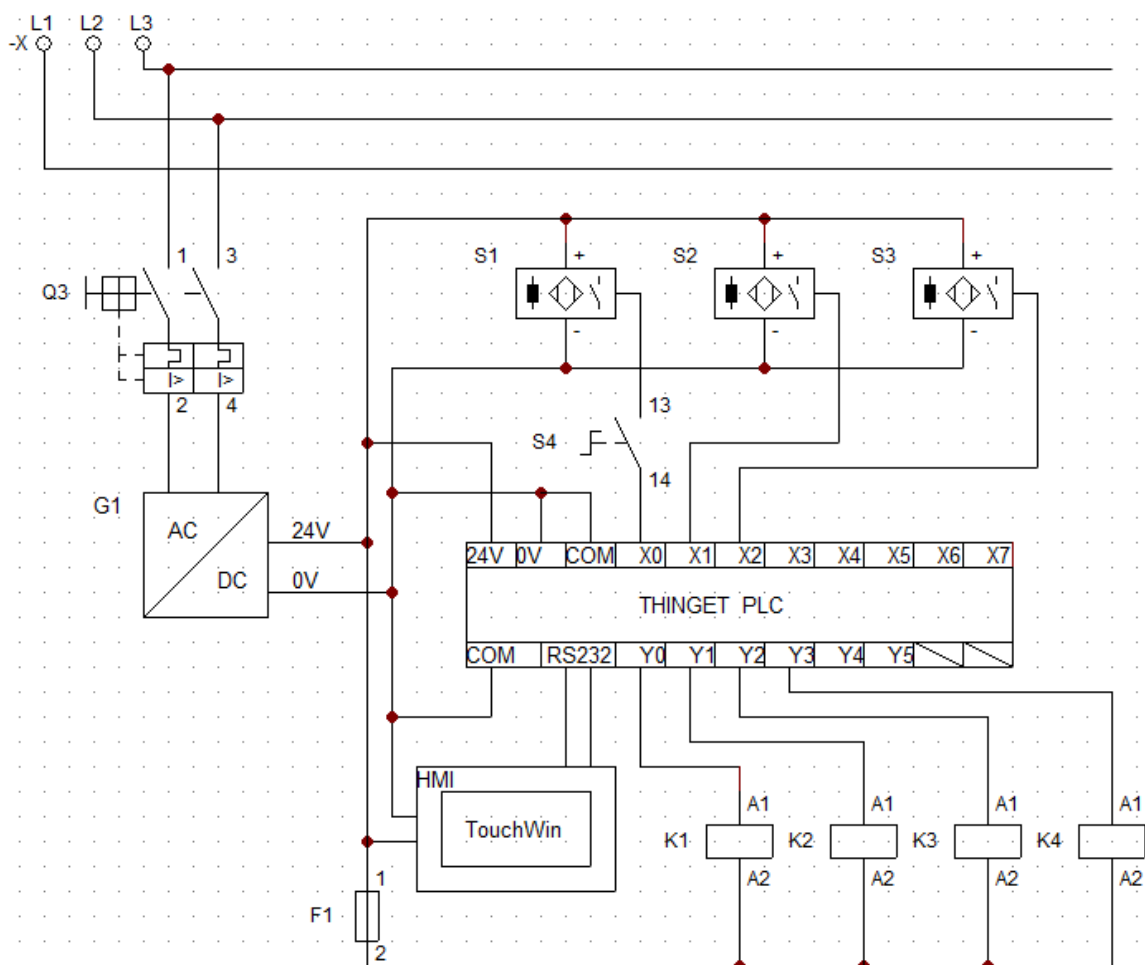
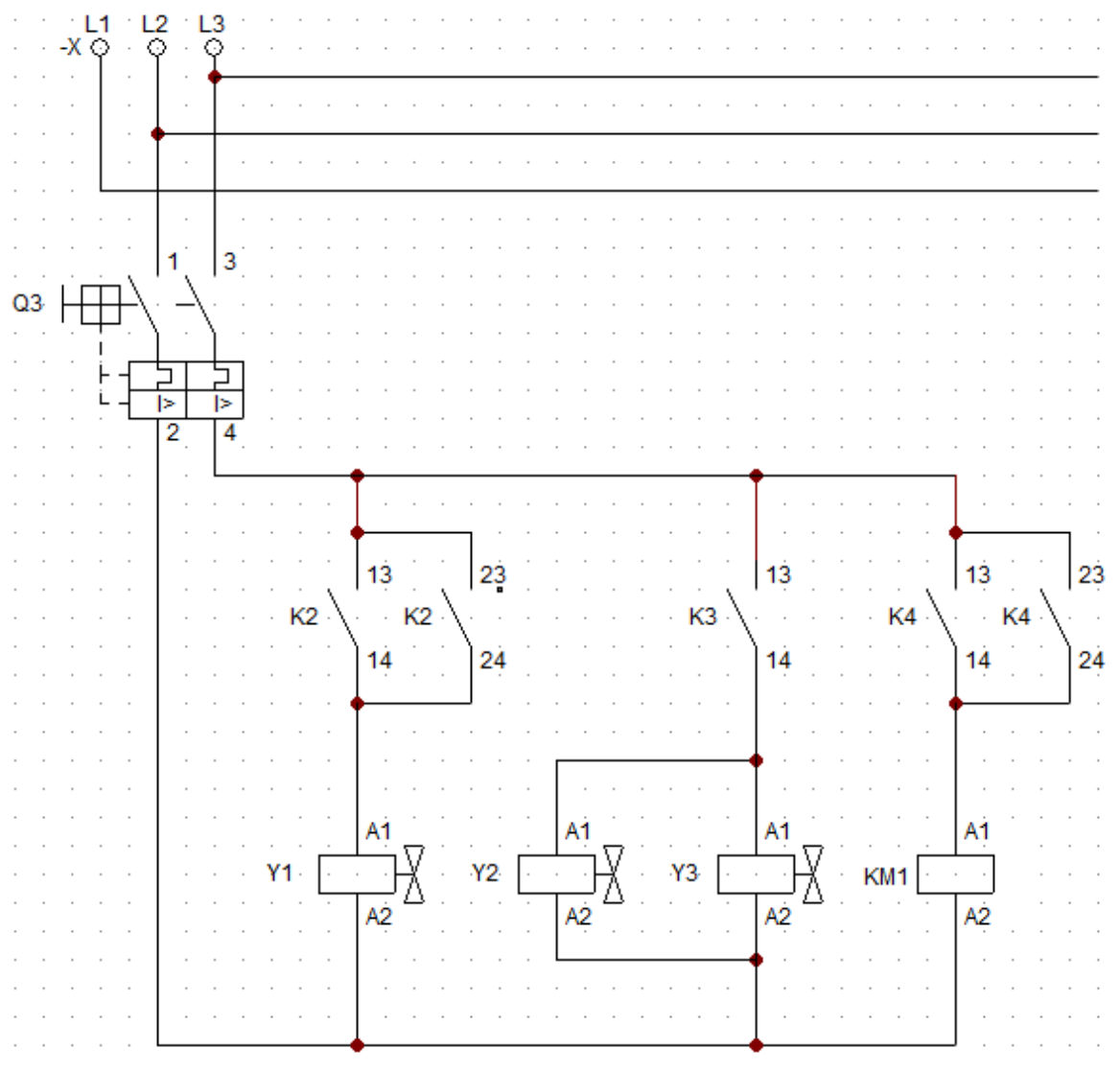


Figura 26: Diagrama de conexiones de electroválvulas.



11. ANÁLISIS DEL PROCESO ANTES Y DESPUÉS DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADAS

Para un correcto análisis de la mejora que se ha realizado en el proceso, es indispensable utilizar herramientas que permitan medir y cuantificar la variable de producción, en este caso la variable más significativa es el número total de galletas saladas dosificadas, además del porcentaje de recorte y barredura. Para llevar a cabo este procedimiento la empresa local en la cual se ha ejecutado este proyecto ha proporcionado tablas en las que notablemente se evidencia el aporte que se ha logrado en el dosificado del producto.

11.1 COMPORTAMIENTO DEL PROCESO ANTES DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADAS

Según el comportamiento analizado por el departamento de producción durante el mes de agosto de 2014, se muestran los resultados en la tabla 5.

Tabla 5: Reporte de producción agosto 2014.

Masas Saltitacos.	2005	
Kg. Empacados.	180.075	85/100Kg harina
Kg. Recorte.	5.812	4,5%
Barredura.	1.252 kg	0,6%
Horas programadas.	514,5 Horas	
Paros previstos.	21,75 Horas	4.2%
Paros imprevistos.	26,72Horas	5,2 %.
Velocidad de marcha de la línea.	350 Kg/hora	

Resaltando que en el 2014 la línea de galleta salada aún contaba con el sistema de dosificación manual, se puede evidenciar que la velocidad de marcha de línea es de 350 kg/h, un valor de en porcentaje correspondiente a 4,5% de recorte y 0.6% de barredura.

11.2 COMPORTAMIENTO DEL PROCESO DESPUES DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DOSIFICADOR PARA GALLETAS TIPO CRACKER FERMENTADAS

Según el comportamiento analizado por el departamento de producción durante el mes de enero de 2015, se muestran los resultados en la tabla 6.

Tabla 6: Reporte de producción enero 2015.

Rendimiento de Galleta Salada								
Enero del 2015 Galleta Salada								
Referencias	Masas Saladas	1883	Cartones	kg estandar	Horas Linea	Promedio de peso neto	kg empacados	varicion de P.N.
	1 Taco Taco Individual 48 x 100		0	0	0.00	0.000	0	0.0
	2 T Ekono 36 x 180		890	5,767	13.73	0.000	0	0.0
	2 T Mercacetro 36 x 200		0	0	0.00	0.000	0	0.0
	2 T Mercaldas 36 x 200		100	720	1.71	0.000	0	0.0
	3 T Saltisimas 24 x 300		2,628	18,922	42.05	0.000	0	0.0
	3 T Saltisimas Mantequilla 24 x 324		1,885	14,658	32.57	0.000	0	0.0
	3 T Saltitacos 24 x 305		540	3,953	8.78	0.000	0	0.0
	3 T Paco Taco 27x 305		253	2,083	4.63	0.000	0	0.0
	4 T Saltitacos Mantequilla 24 x 394		420	3,972	9.64	0.000	0	0.0
	4 T Éxito Mantequilla 24 x 394		367	3,470	8.42	0.000	0	0.0
	5 T Unidos 24 x 485		740	8,614	19.14	0.000	0	0.0
	5 T Euromax 24 x 460		400	4,416	9.81	0.000	0	0.0
	5 T OR 24 x 460		0	0	0.00	0.000	0	0.0
	5 T Paco Taco 27x 460		729	9,054	20.12	0.000	0	0.0
	5 T Pacifico 24 x 460		330	3,643	8.10	0.000	0	0.0
	5 T Surtiplaza 24 x 460		350	3,864	8.59	0.000	0	0.0
	5 T Mega tiendas 24 x 460		333	3,676	8.17	0.000	0	0.0
	5 T Mercacetro 24 x 500		0	0	0.00	0.000	0	0.0
	5 T Saltipack 24 x 500		0	0	0.00	0.000	0	0.0
	5 T Saltitacos 24 x 500		5,504	66,048	146.77	0.000	0	0.0
	5 T Super Inter 24 x 500		700	8,400	18.67	0.000	0	0.0
	5 T Yep Salada 24 x 500		173	2,076	4.61	0.000	0	0.0
	5 T Consumo 24 x 500		100	1,200	2.67	0.000	0	0.0
	5 T Ekono 24 x 500		160	1,920	4.27	0.000	0	0.0
	Recorte de producción					Kg	6535	3.9%
	Barredura de producción					Kg	1388	0.8%
	Total		16,602	167,236	372.5	Horas a Producir	172,780	5,544
	R Harina	88.8	kg Hora	449	75.4	447.9		3.3%
Porcentaje de aceite: Se gasta 9% de aceite en la referencias mantequillas								
Ventajas: 65 cartones en ventaja en interno saltitacos, (780kg)								

En el 2015 se aumenta la producción a 400 kg/h, al verificar que las máquinas de empaque podían con más capacidad se aumenta a 450 kg/h, en la tabla 6 se ve dicho avance, igualmente se necesitaba más demanda en las máquinas para ser más eficientes con respecto al empaque pero se tenían otras limitaciones por parte del horno.

Finalmente esa limitación fue corregida al realizar la instalación de un horno de mayor capacidad, lo cual condujo a la implementación de una nueva línea de producción, en la figura 27 se observa dicha actualización, mientras que en la figura 28 se detalla la maquina dosificadora instalada en la nueva línea.

Figura 27: Modificación de la línea, horno.



Figura 28: Implementación de dosificadora de galletas en nueva línea de producción.



Tabla 7: Reporte de producción noviembre de 2015.

Produccion Galleta Salada								
Noviembre del 2015								
	Masas Saladas	1110	Cartones	kg estandar	Horas Linea	Promedio de peso neto	kg empacados	varicion de P.N.
1	1 Taco Taco Individual 48 x 100g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
2	2 T Ekono 36 x 180g		7,203	46,675.4	66.68	0.247	64,049	17,373.6
3	2 T Mercacentro 36 x 200g		228	1,641.6	2.35	0.244	2,003	361.2
4	2 T Mercaldas 36 x 200g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
5	2 T Megatiendas 36 x 200g		64	460.8	0.66	0.240	553	92.2
6	3 T Saltisimas 24 x 300g		5,166	37,195.2	53.14	0.342	42,403	5,207.3
7	3 T Saltisimas Mantequilla 24 x 324g		4,104	31,912.7	45.59	0.350	34,474	2,560.9
8	3 T Saltitacos 24 x 305g		1,717	12,568.4	17.95	0.378	15,577	3,008.2
9	3 T Paco Taco 27x 305g		412	3,392.8	4.85	0.367	4,083	689.7
10	4 T Saltitaco Mantequilla 24 x 394g		516	4,879.3	6.97	0.450	5,573	693.5
11	4 T Éxito Mantequilla 24 x 394g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
12	4 T JBO Mas Calidad 24 x 368g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
13	4 T Metro Junto a ti 24 x 368g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
14	4 T Pacotaco Mantequilla 21 x 394g		1,192	9,862.6	14.09	0.425	10,639	776.0
15	5 T Unidos 24 x 485g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
16	5 T Euromax 24 x 460g		210	2,318.4	3.31	0.580	2,923	604.8
17	5 T OR 24 x 460g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
18	5 T Paco Taco 27x 460g		2,448	30,404.2	43.43	0.574	37,939	7,534.9
19	5 T Pacifico 24 x 460g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
20	5 T Surtiplaza 24 x 460g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
21	5 T Megatiendas 24 x 460g		40	441.6	0.63	0.582	559	117.1
22	5 T Mercacentro 24 x 500g		620	7,440.0	10.63	0.526	7,827	386.9
23	5 T Saltipack 24 x 500g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
24	5 T Saltitacos 24 x 500g		8,461	101,532.0	145.05	0.556	112,904	11,371.6
25	5 T Super Inter 24 x 500g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
26	5 T Yep Salada 24 x 500g		200	2,400.0	3.43	0.580	2,784	384.0
27	5 T Consumo 24 x 500g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
28	5 T Ekono 24 x 500g		0	0.0	0.00	0.000	0	0.0
Referencias	Recorte de producción					Kg	25204	8.6%
	Barredura de producción					Kg	3432	1.2%
	Total		32,581	293,125	418.8	Horas a Produc	344,287	51,162
	R Harina	75.5%	kg Hora	700	165.2	584		17.5%

Como se evidencia en la tabla 7 en noviembre de 2015 y a principios del 2016 se logra colocar en funcionamiento un nuevo horno el cual aumenta la capacidad de la línea, aumentando la producción a 700 kg/h por la modificación realizada, lo cual genera que la máquina dosificadora pueda trabajar a un 83%, mientras que el otro 17% se hace mediante el proceso de alimentación manual, esto quiere decir que del valor total que es capaz de producirse en la línea, 581 kg son dosificados en la maquina dosificadora que fue diseñada e implementada en este trabajo de grado y 119 kg continuando siendo dosificados aun a mano.

La tabla 8 muestra una comparación de los indicadores de producción que ha tenido la galleta salada desde que se redactó el anteproyecto hasta la finalización del trabajado de grado, resaltando que el ultimo de reporte de producción que corresponde a noviembre de 2015 es una retroalimentación que se presenta con el fin de evidenciar el mejoramiento continuo con el que cuenta hoy en día la línea de producción.

Tabla 8: Comparación de indicadores galleta salada.

COMPARACION DE GALLETA SALADA			
Indicador	Agosto 2014	Enero 2015	Noviembre 2015
kg Recorte	4,5%	3.9%	8.6%
kg Barredura	0.6%	0.8%	1.2%
Velocidad de marcha de la línea kg/h	350	449	700

Los indicadores de producción muestran el aumento de la velocidad de marcha de la línea en kg/h, sin embargo, en el mes de enero de 2015 el kg de barredura aumentó mientras el kg de recorte disminuyó, esto significa que al aumentar la velocidad, se mejora la cantidad de galletas producidas, pero esta velocidad le cuesta a la empresa más kg de barredura mientras se consigue el rendimiento esperado entre la cantidad de producto empacado y perdidas, a su vez se observa que en el mes de noviembre de 2015 la velocidad de marcha alcanzó a doblar la velocidad inicial y por ende se hace necesario considerar que el crecimiento de desperdicio se vuelve inherente al aumentar los niveles de producción.

12. CONCLUSIONES GENERALES

- Se diseñó e implementó un sistema dosificador para galletas tipo cracker fermentadas en una empresa local de fabricación de productos del sector panadero que permitió mejorar el proceso de dosificación logrando incrementar hasta en un 50% el valor de kg/h.
- Se alcanzó a incrementar la calidad del producto, reduciendo la carga laboral de los operarios y aumentando la exactitud en la cantidad de galletas dosificadas.
- Se evidenció que al reducir la carga laboral de los operarios también se reduce el estrés, lo que permite que el trabajador este más relajado teniendo inclusive tiempo suficiente para realizar actividades de mantenimiento como es el aseo de la máquina y del puesto de trabajo.
- Se consiguió integrar los subsistemas relacionados con el proceso de dosificación, entre estos se encuentran el subsistema electromecánico de bandas transportadoras y el subsistema neumático representado por el conjunto de electroválvulas y cilindros neumáticos.
- En base a la información investigada se determinó que implementar sistemas automatizados de dosificación, reduce el tiempo de manipulación del producto por lo que la probabilidad de contaminación es menor, sin embargo se hace necesario mantener una óptima sincronización con los subsistemas.
- El hecho de aumentar la eficiencia del proceso de dosificación, genera una disminución notable en la cantidad de producto rechazado y barredura lo que hace que este proceso genere menores pérdidas y costos de producción.
- La utilización de variadores de velocidad en este proyecto facilitó el ajuste de velocidad en los motores, ya que dependiendo del tipo de galleta que se dosifica y se empaca, varia la velocidad de la banda transportadora y la velocidad de motor dosificador, lo que permite a este sistema adaptarse a diferentes necesidades de la línea de producción.
- Se comprobó que trabajar con sistemas de desarrollo basados en el lenguaje de programación tipo escalera reduce sustancialmente los tiempos de implementación, evitando prolongados periodos de transición entre un sistema de operación manual a uno automatizado.

13. BIBLIOGRAFIA

- [1] Manley, Duncan. Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry. England: Woodhead Publishing, 29 de febrero 2001, 1ra edición, 208p, ISBN: 9781855735439.
- [2] Baking industry research trust. Birt crackers information sheet v1.0 2010.
- [3] Manley, Duncan. Biscuit, Cookie, and Cracker Manufacturing, Manual 2: Biscuit doughs, Volumen 1. England: Woodhead Publishing, 1998, ISBN: 9781855732933.
- [4] Biscuit Application Group (B.A.G.), Nestle S.A. "Curso Básico V Tecnologia em Biscoitos". Brasil, Marzo, 2000.
- [5] Kulp, Karel y Lorenz, Klaus. Handbook of Dough Fermentations. New York: Marcel Dekker, inc, 2003, ISBN 0824742648.
- [6] Lallemand. BAKING UPDATE, *Practical technology, Montreal, Lallemand Inc, American Yeast Sale, 1999.*
- [7] Tamborello, Vince. Cracker Packaging Technology: Stacks and Piles and Slugs. B&CMA 89th Annual Tech Conference, Athens, GA, Benchmark Automation.
- [8] Manley, Duncan. Biscuit, Cookie and Cracker Manufacturing Manuals: Manual 6: Biscuit packing and storage. England: Woodhead Publishing, 1998, ISBN: 1855732971.
- [9] R. Cobo, «EL ABC DE LA AUTOMATIZACION,» Chile.
- [10] V. D. V. Y. A. ELECTRONICOS, «Jose M. Mansilla,» 2011. [En línea]. Available: http://conbotassucias.files.wordpress.com/2011/10/variadores-develocidad_jmmc.pdf. [Último acceso: 12 febrero 2016].
- [11] Holguín L. Mauricio, Orozco G. Álvaro Ángel, Guarnizo L. Cristian. "Automatismos Industriales". Taller de Publicaciones- Universidad Tecnológica de Pereira, ISBN: 978-958-8272-99-3, 2008, Pereira.
- [12] MOLINARI, Norberto. Ingeniero Hidrosanitario. Curso sobre micro controladores lógicos programables PLC's.
- [13] TIRABASSO, Jorge. Introducción a la programación de los controladores lógicos programables.

14. ANEXO

A.1. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PLC Y HMI, PRESENTADO EN FORMATO DIGITAL